

第8章 太陽光発電システム論

1. 太陽光発電システムとはなにか？

1.1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災とそれにともなう福島第一原子力発電所の深刻な事故により、多くの国民が、原子力発電技術の「安全性」が神話にすぎなかったことを、身をもって経験した。そして、これとは対照的に太陽光発電への期待がますます高まっている。

しかし、この太陽光発電に「神話」の萌芽はないだろうか。いま、このような時期にこそ「太陽光発電技術とはなにか？」と自らに問いかけ、常識とされていることに疑問の目を向けてみるべきではないだろうか。そして、もしそこに「神話」の芽があるのなら早急に摘み取らねばならない。

1.2 「太陽光発電システム」とはなにか？

技術的には「太陽エネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電技術」ということだが、ここで問うているのは「工業製品」としての太陽光発電システム（以下「PVシステム」）である。

すべてあたりまえのことであるが、工業製品としてのPVシステムには他の電気製品にはない以下のような特徴がある。

- 1) 発電の基幹部分である太陽電池モジュールが過酷な屋外環境下にあり、ほとんどの住宅用PVシステムでは所有者の視野外に設置される。
- 2) 機械的可動部がなく運転中は無音である。これは往時から現在に至るまで、多くの太陽光発電に関する技術解説書に書かれている。
- 3) 運転の開始・停止は自動で行われるため、自立運転モードに切り替えるような場合を除く通常運用では、所有者自身がPVシステムを操作することがない。
- 4) PVシステムの最大かつ唯一の効用である「発電電力(kW)」が、周辺環境や気象条件に応じて時々刻々と変動する。

一方で、一般住宅に設置されるような出力50kW未満（注：2011年6月の電気事業法改正により「20kW未満」から引き揚げられた）の低圧連系PVシステムは、法的には定期点検を求められていない。

つまり、住宅用PVシステムでは、高額を払って契約し、契約業者の設計通りに設置し運用を始めてからは、特段の操作が不要のため誤操作をすることもない。しかし、それでも太陽電池モジュールあるいはPVシステムに異常が発生した場合、所有者がそれを視覚や聴覚で認識することが困難であり、ましてや時々刻々と変動する発電電力を監視してい

でも異常に気づくことはできない。

このような特徴をもつ PV システムが、世の中では「メンテナンス不要」「メンテナンスが簡単」という特長で国民・消費者にアピールされている。

1.3 太陽光発電システムの「品質」とはなにか？

どのような工業製品にも「品質」がある。筆者は社会経済学者でも行動心理学者でもないが、消費者が工業製品を購入する場合、その製品選択の判断に「価格」と「品質」が重要な役割を果たしていることは想像に難くない。

PV システムは多くの人々が「環境に優しいクリーンな発電技術」という好意的イメージをもっているが、これはあくまで技術イメージであり品質ではない。では、工業製品としての PV システムの「品質」とは何であろうか。

太陽電池モジュールや PV システムの製品カタログなどには、太陽電池モジュールの「効率」が掲載されている場合が多い。別の表現をすれば、消費者が品質と認識する指標は「効率」しかないともいえる。また、現実には多くの人々が「効率」の高い太陽電池モジュールを求めている。確かに効率の高さは製造企業の技術力を示し、低価格化に一定の寄与を果たしており、研究開発では効率向上をめざすべきである。しかし、市場において効率は消費者に提示すべき決定的な品質指標なのであるか。1 ポイントや 2 ポイント程度のモジュール効率の違いが消費者に何をもたらすのであろうか。

いうまでもなく、PV システムの効用は（クリーンな）エネルギーを発生・供給することであり、それが多ければ多いほど効用が高い。したがって、その工業製品としての品質は「生涯発電量 (kWh)」でなければならない。つまり、「価格」と「寿命（耐用年数）・耐久性」とを消費者に比較してもらおうのが健全な PV システムの市場ではないだろうか。

1.4 太陽電池モジュールの「寿命」とはなにか？

ところが、実際には太陽電池モジュールの寿命（「期待寿命」という言葉で表現する製造メーカーも多い）はおしなべて「20 年以上」とされている。誠に遺憾なことではあるが、太陽電池モジュールにはいまなお「寿命」の定義がない。したがって、何をもって寿命が 20 年であるのか、20 年後の太陽電池モジュールはどのようになっているのか、もっといえば「どうなったら使ってはいけないのか」「壊れるとはどういうことか」が極めてあいまいなままである。

最近になってようやく寿命を定義しようという動きがあるが、それは発電性能の低下の度合いを尺度にしようというものである。この考え方に真っ向から異を唱えるものではないが、ここでも太陽電池モジュールという工業製品の特殊性を慎重に考慮すべきである。

たとえば、近年急速に普及が進んでいる白色 LED 電球の寿命は、(社) 日本照明器具工業会が「照明器具製造業者が規定する条件で点灯したとき、LED モジュールが点灯しなくなるまでの総点灯時間または、全光束が点灯初期に計測した値の 70% に下がるまでの総

点灯時間のいずれか短い時間を推定したもの」と定めている¹⁻¹⁾。照明器具がその効用を果たせなくなるわけであるから、光束の減少を尺度とすることは理にかなっている。

太陽電池モジュールについても同様な考え方をすることは可能である。つまり「太陽電池モジュール製造業者が規定する条件で出力を測定したとき、太陽電池モジュールから出力が得られなくなるまでの総発電時間または、出力が運転初期に計測した値の70%に下がるまでの総発電時間のいずれか短い時間」ということである。しかし、この場合、初期に対して70%に出力が低下した太陽電池モジュールの効用は失われているだろうか。たとえ30%の出力が失われたとしても、残存している70%の出力が初期と同等の品質の電力を生み出すことができるとすれば、その太陽電池モジュールにはなお効用が残っているという考え方も成り立つ。

さらに、寿命を考える上で大切なのは、感覚的に使用者が感じることができること、そして使用場所においてある程度技術的な判定ができることではないだろうか。前述した白色LED電球のような照明であれば、暗くなってきたことを使用者が感じることができるであろう。しかし、太陽電池モジュールの場合には一枚一枚の出力の低下を使用者が感じることが極めて難しく、また、それを現地で判定可能とする技術的方法も確立していない（経済性を無視すれば可能ではあるが）。

太陽電池モジュールの「寿命」とはどのように考えればよいのだろうか。もしかすると、このことを考えること自体が無意味なのかもしれない。車検制度のおかげもあってか自動車の寿命がほとんど問題にならないように、PVシステムの寿命・耐久性も「システム」としてとらえる必要があるのかもしれない。

1.5 太陽光発電システムは「メンテナンス・フリー」か？

前節で述べたように、現在は住宅用PVシステムのような小出力発電設備の保守点検は法的には求められていない。したがって、所有者が何らかの異変に気づき点検を依頼しなければ、保守点検は実施されない。しかし、これも前述したように自分のPVシステムに何らかのトラブルや不具合が発生しても、所有者がそれに気づくことは難しい。結果として、太陽電池メーカーが提供している10年保証の期間内であっても、それを過ぎた11年目以降であっても、使用者が点検を依頼しない限り法的には永久に保守点検は実施されることはない。たしかに「メンテナンス・フリー」である。しかし、ほんとうにこのままでよいのだろうか。

現実には太陽電池モジュールやPVシステムに不具合が発生している。太陽光発電業界は保守点検のためのガイドライン¹⁻²⁾を整備し、施工者にも教育しているはずであるが、その内容が十分でないため、このような不具合のほとんどを見つけることができない。このような状況の原因の一つこそがPVシステムの「メンテナンス・フリー」神話ではないだろうか。

このような実態があるにもかかわらず、現在はほとんど太陽電池メーカーが10年から25

年もの長期出力保証サービスを提供している。たとえば、10年保証では設置した個々の太陽電池モジュールが公称値の81%以下を下回った場合に無償交換のサービスを提供している。消費者にとっては大変ありがたいサービスにみえるが、その保証期間内において所有者が太陽電池モジュールの性能低下に気づくのはほぼ不可能である。また、待っていても定期点検にはこない。点検を依頼しても上述のガイドラインには屋根の上に設置された太陽電池モジュール個々の性能を測定するような点検項目はない。したがって、長期出力保証サービスが提供されていても、所有者がそのサービスを行使するチャンスは事実上ないのである。

1.6 太陽光発電システムの安全対策は十分か？

さらに、この「メンテナンス・フリー」神話は、PVシステムの安全運用の点でも問題がある。図1は当所が2004年4月から運用している太陽光発電設備で実際に発生した太陽電池モジュールの不具合である。この不具合は太陽電池モジュール内配線の接続不良にはじまり、バイパス・ダイオードのオープンモード故障への経過をたどったものであるが、焼損がもっとも激しい端子箱付近は、約半年の間、日中には500℃以上に達していた。太陽電池モジュールには難燃性の高い部材が使われているということであるが、住宅用PVシステムでは太陽電池モジュールと屋根の狭い空間に枯れ葉や小動物の巣などの可燃物が



図1 産総研太陽光発電設備で発生した不具合モジュール(1)

堆積している場合もめずらしくないことから、このような不具合は安全面で看過できないものである。

また、図2も当所の太陽光発電設備で確認された太陽電池モジュールの不具合の例である。もともとこの太陽電池モジュールのバイパス・ダイオード（図中白丸部分）が機能していないことを把握していたが、不定期に実施した目視観察の際に、そのバイパス・ダイオード付近の封止樹脂が炭化していることを確認し

た。詳細な調査・分析はまだ実施していないが、これも何らかの熱が作用したものと考えられ、安全面での問題をはらんでいる可能性がある。

消費者庁は、昨年9月に千葉県でPVシステムを搭載した住宅の火災事故を報告している¹⁻³⁾。この報告によれば、「太陽電池モジュール付近から出火したものと考えられるが、焼損が著しく、原因の特定には至らなかった」とのことである。今後の普及の加速的拡大を考慮すると、今後このようなリスクが高まることを覚悟しなくてはならない。

他の工業製品と同様にPVシステムも安全性は必須の「品質」である。ましてや一般家庭に設置される直流の発電設備ではなおさらである。都市ガスやLPガスなどのエネルギー

を使用する機器が危険であることは常識であり、機器を製造する側も安全性には相応の工夫をしているのに、同じエネルギー機器であるPVシステムだけが安全であるはずがない。むしろPVシステムにもある程度の安全対策はほどこされているが、20年以上にわたってメンテナンス・フリーで運用されることを想定した対策は確立しているのだろうか。住宅火災などの場合、都市ガス・LPガス・系統電力など住宅へのエネルギー入力は何らかの手順



図2 産総研太陽光発電設備で発生した不具合モジュール(2)裏面端子箱内部の拡大写真)

で遮断される。昼間の場合にはPVシステムは発電しているが、運転を停止すれば電力供給は停止される。しかし、屋根の上の太陽電池モジュールは太陽エネルギーの入力により電圧はなお発生している状態にある。欧米ではこのような状態での消防活動の安全性などが組織的に議論されはじめているが、わが国ではようやく少数の研究者・技術者などが指摘を始めたところ¹⁻⁴⁾¹⁻⁵⁾であり、組織的な取り組みには至っていない。

1-7 おわりに

本技術分野に籍を置くはしくれとして将来のPVシステムのメンテナンス・フリー化を望んではいるが、その道のりは決して平坦なわけではない。その実現にはまず現状を正しく把握し、不本意ではあっても問題点を謙虚に洗い出し、製品としての改善策や現地対策、さらには必要に応じて法令・標準・規格・ガイドラインの整備へと遅滞なく確実に進めていく必要がある。

おそらく本技術分野に携わる個々の人々には、本稿の問題にある程度共感してもらえると信じているが、それぞれが属する組織でもそのことが共有・認識されなければならない。太陽光発電の普及に水をさすような後ろ向きの内容ではあるが、それを解決することが真に前向きな取り組みとなるはずである。どのような回答に帰結するかは別にして、ぜひそれぞれの組織においてこれらの問題を議論していただきたい。

また、保守点検技術の確立のためには、まず現状のPVシステムに起きている問題を正しく把握する必要がある。太陽光発電業界には、ぜひそのような情報を適正に共有する仕組みや制度を用意していただきたい。

なお、最近ではメガ・ソーラー普及の機運に乗じて、PVシステムの保守点検や運転監視のサービス、あるいは保守点検のための検査装置などを手掛ける企業が出現し始めているが、筆者はこのような現象に危惧を感じている。的確な保守点検や不具合検査のためには、不具合そのものに関する経験と知見を蓄積し、正しい判定基準を準備していることが必須

である。道具だけがあればよいというものではない。そのような準備を経た企業がどれだけあるだろうか。きちんとした準備もなしに商機だけをとらえて事業を行っているのだとすれば、それはかえってPVシステムの保守点検に対する誤ったメッセージになりさがる。

「やったつもり」の保守点検は誰にでもできるが、ミスジャッジのない正しい保守点検はそんなに簡単にできるものではない。

2. PVResQ! における太陽電池モジュールの電氣的不具合の調査方法とその実例

2.1 はじめに - PVResQ! 活動について²⁻¹⁾²⁻²⁾

筆者らは、2006年より「PVResQ! (PV - Reliable, Safe and Sustainable Quality !) 活動」を実施している。これは太陽光発電システム（以下「PVシステム」）の健全な普及を願い、住宅用PVシステムを中心とした現地詳細調査を行い、そこで得られた不具合を技術側面や社会的側面から分析するとともに、実践的かつ実効的な不具合探査技術および保守点検体系の提案をめざすものである。

本章では、PVResQ! が実際に行っている太陽電池モジュールの電氣的不具合の調査方法を概説するとともに、これまでの調査で発見した主な不具合事例を紹介する。

2.2 現地調査に使用する主な測定機器について

PVResQ! では、絶縁抵抗計やデジタルマルチメータなどの一般的な電気測定機器のほか、PVシステムの不具合調査に特有な測定機器として以下を用いている。

(1) 電流－電圧特性測定装置

いうまでもなく、太陽電池モジュール・ストリング・アレイなどの電流－電圧特性を取得する測定器である。通常は接続箱をアクセスポイントとしてストリング毎に測定する。また、PVResQ! では可能な限り日射計を用いてアレイ面日射強度も測定している。

測定対象としたストリング内の太陽電池モジュールに何らかの不具合（直列抵抗増加やクラスタ脱落）が生じていると電流－電圧特性の形状が変化するが、その変化の程度が微小である場合には判別が困難である。また、判別ができたとしても不具合モジュールの特定まではできない。特定するためには当該ストリング内のモジュール毎に電流－電圧特性を測定する必要があるが、太陽電池モジュールが屋根上に設置されている住宅用PVシステムではそれも困難であることがしばしばである。

(2) 赤外線カメラ

赤外線カメラは、研究開発の分野においてはホットスポットセルの観察などを目的として古くから利用されてきたが、近年の急速な低価格化の進展により導入・普及の現場でも利用が可能になりつつある。

通常、赤外線カメラによるアレイの観察はシステム運転状態で行う。判別可能な主な不具合は、セルやはんだ接続部の発熱に現れるインターコネクタ・バスバー接続不良、バイ

パス・ダイオード (BPD) の発熱をともなうクラスタ脱落, ストリング間のわずかな温度差が示すストリング断線などである。

赤外線カメラは有効な測定機器の一つではあるが, 検知する物理現象が主に電流由来の発熱であるため, 低日射時には不具合の判別が困難な場合がある。また, アレイに陰がかかっている (観察者自身の自己陰を含む) ような状況ではシステム動作点の移動により不具合部分が発熱しない場合も想定されるため, 観察時のシステム状況には注意が必要である。

(3) 配線路探査器

配線路探査器は, 一般には電気設備におけるブレーカ探査やケーブル・埋設線探査・漏電点探査に用いられる測定機器である。本測定機器は, 一般に信号の送信器・受信器とで構成されており, 探査対象とする配線路に接続された送信器から送出される微小信号電流が配線路に発生させる誘導磁界を受信器で感知することにより配線の状態を把握するものである。

PVRessQ! では, これを以下のような PV システムの不具合調査に応用している²⁻³⁾。なお, いずれの場合もシステム運転を停止した状態で行う。

①アレイのストリング配線マップの作成

前述の電流-電圧特性想定装置を用いてストリング内に不具合モジュールの存在が確認できたとしても, そのストリングがアレイのどの太陽電池モジュール群に該当するのかが既知でなければ, 不具合モジュールの特定は困難である。そのためにはアレイのストリング配線マップ情報が不可欠となるが, 住宅用 PV システムではそのような情報が保管されていないことが多い。そのような場合には, この配線路探査器を用いてストリング配線マップを作成する。

具体的には, 接続箱内において各ストリングに順次送信器を接続し, 太陽電池モジュールのインターコネクタ上を受信器で走査する。受信器が送信器の信号を感知するか否かで, 対象モジュールがどのストリングに属しているかが容易に判別できる。

②太陽電池モジュール内配線の断線箇所の探査

前と同様に, ストリングに送信器を接続し, 太陽電池モジュール内の配線路に沿って詳細に受信器を走査する。はんだ不良などでセル間の接続が切れている場合, その部分には送信器の信号が流れないため, 受信器が信号を感知しない。

なお, これを行う場合, 探査対象とするクラスタに大きな陰がかからないよう注意する必要がある。これは陰により BPD が機能すると送信信号が太陽電池モジュール内配線の流れなくなるためである。

③ BPD のオープンモード故障検査

太陽電池モジュール端子箱内に装着されている BPD のオープンモード故障検査は, 前とは正反対のことを行う。すなわち, 検査対象とする BPD が担当するクラスタを相応面積のゴムシートなどで遮光し, 意図的に BPD が機能する状況をつくる。次に, このような状況

のクラスタ内の配線路を受信器で走査する。BPD が健全に機能していれば受信器は信号を感知しないが、オープンモード故障であれば、送信信号が配線路に流れつづけるため、このような状況においても受信器が送信信号を感知する。

2.3 現地調査事例

PVRessQ! では、2006 年から 2011 年までの 5 年間に、結晶 Si 太陽電池モジュールを搭載した住宅用 PV システムを中心に、国内 30 件の PV システムの現地調査を行ってきた。ここではその調査で発見した不具合事例の数例を紹介する。

(1) モジュール内配線のはんだ接続不良

① 沖縄県沖縄市の事例

2011 年 11 月に調査を実施した本事例のシステム概要を表 1 に示す。

表 1 沖縄県沖縄市の事例のシステム概要

運転開始年	2004 年
太陽電池モジュール	多結晶 Si (128W)
アレイ容量	5.76kW (9 直列×5 並列)
パワーコンディショナ容量	4.0kW

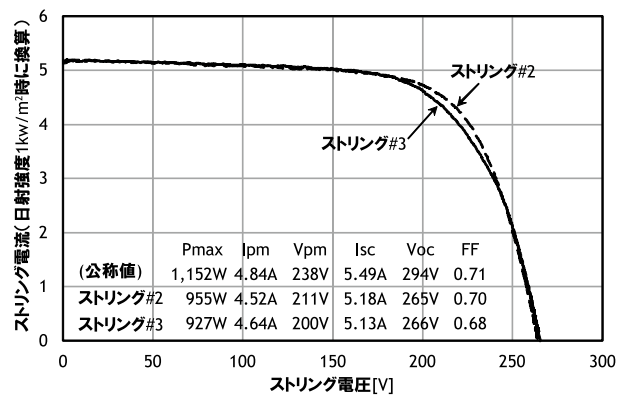


図 3 二つのストリングの電流－電圧特性測定結果 (電流は日射強度 1kW/m²時に簡易換算)

図 3 は、二つのストリングの電流－電圧特性を測定した結果である。どちらの電流－電圧特性も形状に大きな崩れはないが、ストリング #3 の曲線因子 (FF) がやや低くなっていることがわかる。また、図 4 はこのストリングに属する 2 枚の太陽電池モジュールの表面温度分布と断線箇所探査結果を示したものである。これを見ると、それぞれの太陽電池モジュール内配線路の一つあるいは複数の断線箇所があり、その隣接セルが高温になっていることがわかる。同図 (b) に示



(a) モジュール3-7

(b) モジュール3-1

図 4 ストリング 3 に属する 2 枚の太陽電池モジュールの表面温度分布と断線箇所探査結果(図中×印)

したモジュール 3-1 は架台から取り外すことができたため裏面を観察したところ、図 5 の値の 77% に低下していることになる。

②埼玉県狭山市の事例

2006 年から 2011 年にかけて数度におたって調査を実施した本事例のシステム概要を表 2 に示す。

図 7 は二つの太陽電池モジュールの電流－電圧特性測定結果である。モジュール L-05 が良好な FF を示している一方で、モジュール L-12 の FF は 0.60 と低い値を示した。実際に赤外線カメラで表面温度分布を観察したところ、モジュール L-05 には不具合を示唆するような温度分布は見られなかったが、モジュール L-12 では図 8 に示すようにインターコネクタとバスバーのはんだ接続部分に発熱がみられた。前述した低 FF の原因は当該部分の接続不良による直列抵抗の増加と考えられる。定格短絡電流および定格開放電圧が劣化していないと仮定した場合の本太陽モジュールの定格最大出力は、公称値に対して 21% 少ない 115W と計算される。

なお、本事例では、これ以外にも複数の太陽電池モジュールで図 10 と同様な発熱を確認しており、調査終了後にはすべての太陽電池モジュールが交換された。



図 5 モジュール 3-1 の裏面の様子

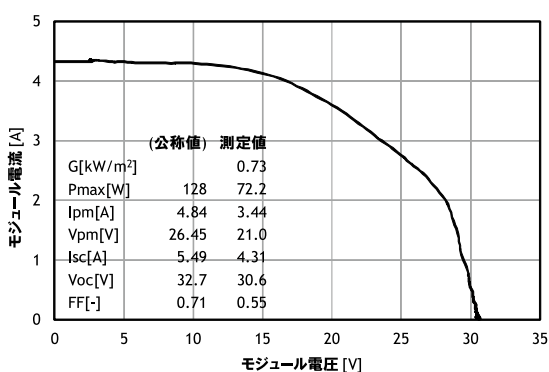


図 6 モジュール 3-1 の電流－電圧特性測定結果

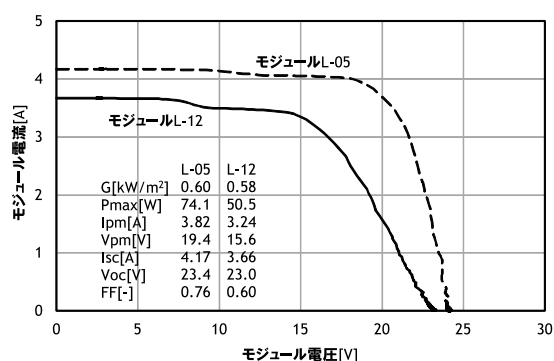


図 7 二つのモジュールの電流－電圧特性測定結果

表 2 埼玉県狭山市の事例のシステム概要

運転開始年	1998 年
太陽電池モジュール	多結晶 Si(145W)
アレイ容量	2.90kW(10 直列×2 並列)
パワーコンディショナ	3.2kW
容量	

(2) クラスタ脱落

①茨城県日立市の事例

表3は、2010年1月に調査を行った本事例のシステム概要である。

図9は24枚の太陽電池モジュールのうちの1枚(「モジュール2-01」)の表面温度分布と断線箇所探査結果を示したものである。右側2/3の部分(「右クラスタ」および「中クラスタ」)には二つの断線箇所があり隣接するセルが発熱していることがわかる。一方、左側1/3(「左クラスタ」)は配線路のどの部分でも送信信号が受信されず、また表面温度分布では左クラスタが他に対してやや温度が高くなっていた。さらに裏面に端子箱が装着されている部分も周囲より温度が高い。これらのことから左クラスタでは配線路内のどこかに断線があり、電流が端子箱内のBPDを迂回して流れている状況が推測される。左クラスタの温度がやや高いのは、当該部分が発電していないため、太陽から受けたエネルギーが発電に利用されことなく熱となって失われているためと考えられる。図10に示した本太陽電池モジュール端子箱内部の左クラスタ用BPD付近における充填樹脂の褐色変も、この推測を裏付けている事象の一つとみなせる。

表3 茨城県日立市の事例のシステム概要

運転開始年	2000年
太陽電池モジュール	単結晶 Si (125Wと136Wが混在)
アレイ容量	3.02kW(8直列×3並列)
パワーコンディショナ容量	3.0kW

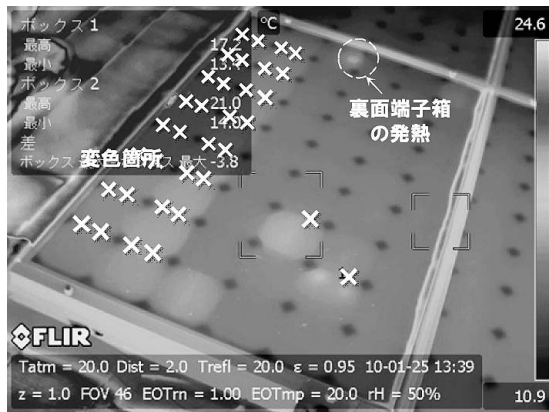


図9 モジュール2-01の表面温度分布と断線箇所探査結果(図中×印)



図10 モジュール2-01の裏面端子箱内部の様子



図8 モジュールL-12の表面温度分布画像

図9は24枚の太陽電池モジュールのうちの1枚(「モジュール2-01」)の表面温度分布と断線箇所探査結果を示したものである。右側2/3の部分(「右クラスタ」および「中クラスタ」)には二つの断線箇所があり隣接するセルが発熱していることがわかる。一方、左側1/3(「左クラスタ」)は配線路のどの部分でも送信信号が受信されず、また表面温度分布では左クラスタが他に対してやや温度が高くなっていた。さらに裏面に端子箱が装着されている部分も周囲より温度が高い。これらのことから左クラスタでは配線路内のどこかに断線があり、電流が端子箱内のBPDを迂回して流れている状況が推測される。左クラスタの温度がやや高いのは、当該部分が発電していないため、太陽から受けたエネルギーが発電に利用されことなく熱となって失われているためと考えられる。図10に示した本太陽電池モジュール端子箱内部の左クラスタ用BPD付近における充填樹脂の褐色変も、この推測を裏付けている事象の一つとみなせる。

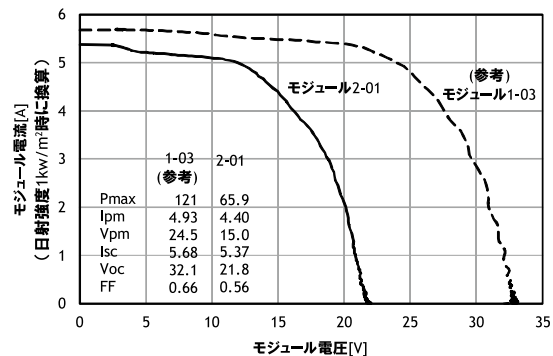


図11 モジュール2-01の電流-電圧特性測定結果(電流は日射強度1kW/m2時に簡易換算)

図 11 はこの太陽電池モジュールの電流－電圧特性測定結果であるが、参考として示した他の太陽電池モジュール（「モジュール 1-03」）の 2/3 程度の電圧しか得られていない、つまりクラスタ 1 個分が消失していることを示している。さらに、図 12 は本太陽電池モジュールの各クラスタをゴムシートで遮光した状態で電流－電圧特性を測定した結果を示したものである。右クラスタや中クラスタを遮光した場合の電圧は、遮光しない場合の半分程度に減少している。しかし、左クラスタは遮光によっても電流－電圧特性に変化がないことから、図 14 で述べた消失クラスタは左クラスタであることが明らかである。なお、定格短絡電流・定格開放電圧に劣化がないと仮定した場合の本太陽電池モジュールの定格最大出力は、 $I_{sc} \times (2/3V_{oc}) \times FF=65.8W$ となり、公称値（125W）の 53% である。

②東京都品川区の事例

2010 年 7 月に調査を行った本事例のシステム概要は表 4 に示すとおりである。

図 13 は、各ストリングの電流－電圧特性を測定した結果である（日射強度は測定していないが、どちらもほぼ快晴時で同時刻のもの）。どれも FF は概ね良好な値であり、特性値としての開放電圧に大きな差異はないが、最大出力点付近から開放電圧点にかけてのストリング #1 の電圧が他のストリングに対して低くなっており、さらに開放電圧点付近で不連続に増加している。これはこのストリングに部分的な電圧消失が生じている可能性を示唆している。

図 14 はストリング #1 に属している太陽電池モジュール（「モジュール 1-02」）の表面温度分布を示したものである。端子箱が装着されている位置付近が高温となっているほか、中クラスタと左クラスタの間にわずかな温度境界が存在している（同図中矢印の位置。左クラスタがやや温度が高い）。この画像から左クラスタが断線し端子箱内の BPD に電流が

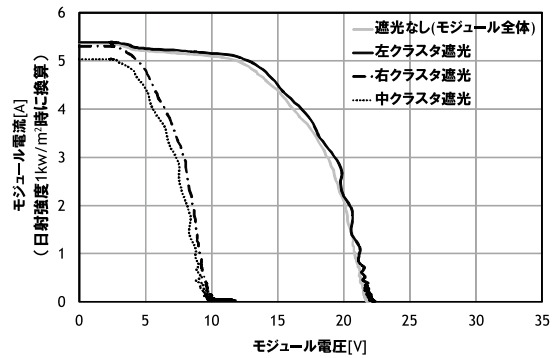


図 12 モジュール 2-01 の電流－電圧特性測定結果
（クラスタ遮光時。電流は日射強度 1kW/m² 時に簡易換算）

表 4 東京都品川区の事例のシステム概要

運転開始年	2000 年
太陽電池モジュール	多結晶 Si (145W)
アレイ容量	5.22kW (12 直列×3 並列)
パワーコンディショナ容量	4.4kW

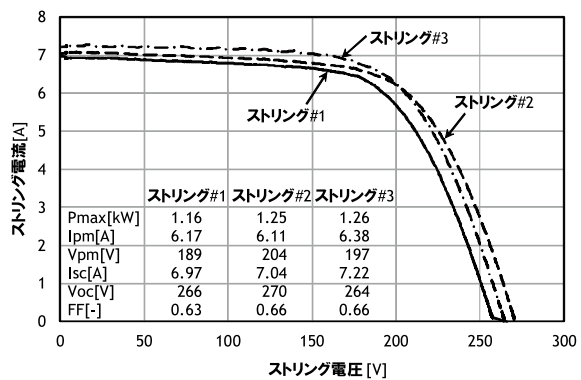


図 13 各ストリングの電流－電圧特性測定結果
（快晴時のほぼ同時刻に測定したもの）

迂回している状況が推測され、実際に配線路探査器による断線箇所探査でこのクラスタには送信信号が流れていないことを確認した。図 13 で述べたストリング #1 の電圧消失の原因は本太陽電池モジュールのクラスタ脱落と考えられる。

一方、図 15 はストリング #3 に属するある太陽電池モジュール（「モジュール 3-10」）の表面温度分布画像である。前出のモジュール 1-02 と同様に、端子箱装着位置付近の温度が高く中クラスタと左クラスタの間の温度境界が存在しており、配線路探査器による断線箇所探査から本太陽電池モジュールも左クラスタが脱落していることが確認された。このことはクラスタ脱落が必ずしもストリングの電流－電圧特性に現れるとは限らないことをわれわれに教えている。



図 14 モジュール 1-02 の表面温度分布



図 15 モジュール 3-10 の表面温度分布

(3) バイパス・ダイオードのオープンモード故障

表 5 は 2009 年 10 月に神奈川県横浜市で調査を実施した事例のシステム概要である。なお、本事例は前方南側に高い鉄柱が立っており一年を通じて陰のかかりやすい設置環境にある。

表 5 モジュール 1-02 の表面温度分布

運転開始年	2001 年
太陽電池モジュール	多結晶 Si (128W)
アレイ容量	2.05kW (8 直列×2 並列)
パワーコンディショナ容量	3.0kW

図 16 は陰のない場合とある場合のそれぞれにおいて測定した各ストリングの電流－電圧特性である。陰のない場合では各ストリングの電流－電圧特性に大きな違いはない。しかし、陰のある場合、ストリング #2 の電流－電圧特性が被陰の状況を反映した段差をともなう形状に変化しているのに対し、ストリング #1 は陰があるにもかかわらず段差が生じていない。さらに、その電流値はストリング #2 で陰の影響を最も強く受けていると思われる部分の電流値と同水準となっている。これは陰による低日射電流がストリング電流を律している状況であり、陰の影響を最も強く受けている BPD のオープンモード故障が疑われる。

図 17 は、小雨のなかではあったが、ストリング #1 内のある太陽電池モジュール（「モジュール 1-08」）について、各クラスタを遮光しながら測定した電流－電圧特性を示したものである。左クラスタと中クラスタをそれぞれ遮光した場合には、遮光したクラスタの

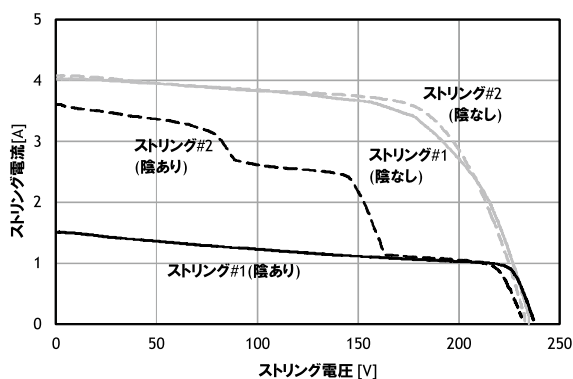


図 16 各ストリングの電流－電圧特性測定結果
(陰のある場合とない場合)

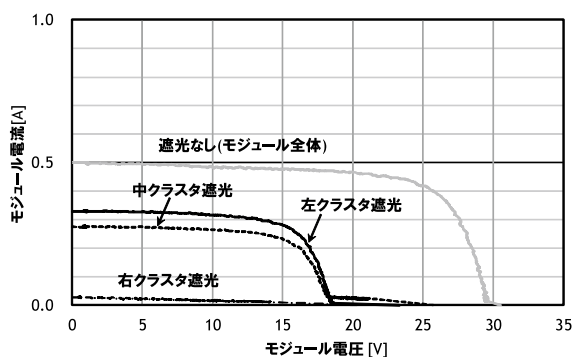


図 17 モジュール 1-08 の電流－電圧特性測定結果 (クラスタ遮光時)



図 18 モジュール 1-02 の右クラスタの BPD 検査の様子

2.5 おわりに

本章では、PVResQ! が実践している PV システムの不具合調査方法を概説するとともに、それらを適用して確認した不具合事例のいくつかを紹介した。

結晶 Si 太陽電池モジュールを対象としたこれまでの調査から、太陽電池モジュール内配線路の接続不良あるいは断線に関連した不具合がもっとも多いことが示された。また、一事例のみではあるが、BPD のオープンモード故障も確認した。BPD は発電機能こそ持た

BPD が機能することにより、遮光していない残り二つのクラスタの電流－電圧特性のみが取得されている。一方、右モジュールを遮光した場合には、遮光されていない他のクラスタの電流－電圧特性すら取得されていない。これは右クラスタを担当する BPD がオープン故障状態にあり遮光しても機能しないためである。実際に、図 18 に示すように、本クラスタを遮光した状態で断線箇所探査を試みたところ、送信信号は BPD を迂回することなく配線路上で受信された。

2.4 不具合事例の集計

表 6 は、PVResQ! がこれまでに調査を実施した 30 事例の住宅用結晶 Si 系 PV システムで確認したアレイ側不具合（パターコンディショナーの不具合や施工不具合を除く）の集計である。

太陽電池モジュール内配線のはんだ接続不良がもっとも多く、全体の 6 割にあたる 18 事例で確認された。また、はんだ接続不良不具合の進行形ともいえるクラスタ脱落も 1/3 の 10 事例で確認された。BPD のオープン故障が確認されたのはいままでのところ 1 事例のみだが、調査開始初期はわれわれ自身が本不具合の検査方法を確立していなかったため、本稿で紹介した検査法は一部の事例にしか適用していないことを付記しておく。

表6 PVResQ! がこれまでに確認したアレイの不具合

不具合	事例数
モジュール内はんだ接続不良	18
クラスタ脱落	10
ストリング脱落(断線)	3
モジュールガラス割れ	2
BPD オープン故障	1
セル割れ	1
モジュールコネクタ接続不良	1
端子箱脱落	1
直流地絡	1

注) 一つの事例で複数の不具合が確認されたものもあるため、不具合事例数と調査事例数は一致しない。

ないものの、部分陰によるホットスポットセル発生の回避や太陽電池モジュール内配線路断線時の電流迂回といった安全面で重要な役割を担っている。この点で太陽光発電業界が推奨している保守点検ガイドライン²⁻⁴⁾にBPDに関する点検項目が含まれていないのは問題であるが、これまで適当な方法がなかったことも多少は斟酌する必要がある。

PVResQ! 自身がいまなお発展途上にあるが、本稿で紹介していない部分も含め、現行の保守・点検ガイドラインに保安の観点から追加すべきアレイ側の電氣的な点検箇所としては、

- ・太陽電池モジュール内配線路の健全性
- ・太陽電池モジュール内バイパス・ダイオードの健全性
- ・ブロッキング・ダイオードの健全性

などがあげられる。ただし、これはわれわれのこれまでの経験を踏まえたものであり、その言及範囲は結晶Si系太陽電池モジュールに限定され、また、必要条件ではあるものの十分条件ではないことを付け加えておく。

出典

- 1-1) (社) 日本照明器具工業会：白色LED照明器具性能要求事項(JIL5006)
- 1-2) 日本電機工業会：小出力太陽光発電システムの保守・点検ガイドライン, JEM-TR228
- 1-3) 消費者庁：消費生活用品の重大事故報告に係る公表について, 2012年4月3日
- 1-4) 小室修：住宅用太陽光発電システムが設置された建物火災の消防活動について, 平成23年度消防庁長官表彰優秀賞受賞論文。
- 1-5) 大塚敏：太陽光発電システムを付帯した住宅火災の火災見分け時における安全対策, 火災, Vol. 61, No. 6, pp. 33-38, 2011
- 2-1) 加藤和彦：住宅用太陽光発電システムの実運転性能調査に関する取り組みーPV, Reliable, Safe and Sustainable Quality! (PVResQ!), 平成19年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, pp. 133-136 (2007, 札幌)

- 2-2) 加藤和彦：太陽光発電システムの不具合事例ファイルー PVResQ! からの現地調査報告ー，日刊工業新聞社（2010）
- 2-3) 加藤和彦：配線路探査器を用いた結晶 Si 太陽電池モジュールの不具合探査に関する基礎的検討，太陽エネルギー，Vol. 35, No. 1, pp. 65-72（2009）
- 2-4) 日本電機工業会：小出力太陽光発電システムの保守・点検ガイドライン，JEM-TR228（2003）